

МАТЕМАТИЧНЕ ОПИСАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ АКТИВАЦІЇ В АГРЕГАТІ БАРАБАННО-ВАЛКОВОГО ТИПУ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Для активації сировинних сумішей із метою зменшення витрат ресурсів у виробництві дрібноштучних стінових виробів доцільне використання агрегату барабанно-валкового типу безперервної дії (далі АБВТ БД). Наведена адекватна математична модель робочого процесу АБВТ, яка дозволяє отримувати основні робочі параметри – зусилля притискання валка та витрачену потужність.

Ключові слова: активація, агрегат барабанно-валкового типу, моделювання, компресійні криві.

Для активации сырьевых смесей с целью уменьшения затрат ресурсов в изготовлении мелкоштучных стеновых изделий уместно использование агрегата барабанно-валкового типа непрерывного действия (далее АБВТ НД). Приведена адекватная математическая модель рабочего процесса АБВТ, которая позволяет получать основные рабочие параметры – усилия прижимания валка и расходуюмую мощность.

Ключевые слова: активация, агрегат барабанно-валкового типа, моделирование, компрессионные кривые.

The continuously working drum-roll type plant – (hereafter CW DRTP) is considered expedient to be used for activation of raw mixes to reduce input whilst manufacturing the small-single-piece wall wares. The adequate mathematical model of CW DRTP working process allowing to receive the basic operational parameter – the roll pressing force and consumable power is shown.

Key words: activation, drum-roll type plant, modelling, compression curves.

Постановка проблеми. Активація сировинних сумішей є загальновизнаним методом ресурсозбереження у виробництві будівельних матеріалів. Серед багатьох конструкцій активаторів агрегати валкового типу приваблюють можливістю обробки товстого шару матеріалу й низкою інших позитивних рис. До таких активаторів належить агрегат барабанно-валкового типу безперервної дії (АБВТ БД) – рис 1, в основу якого покладено принцип ущільнювання шару матеріалу 5 між поверхнями валка 2 і барабана 1, що обертається з надкритичною швидкістю. Суміш завантажується у барабан через лоток 4, захоплюється валком і

ущільнюється прокатуванням під ним. Після кожного ущільнення шар підлягає рихленню ножем 6, який формує струмінь суміші, направляючи його під валок 2. Необхідне і регульоване зусилля притискання валка 2 до шару матеріалу забезпечується пневмоциліндром 3 через важіль. Багаторазове ущільнення-рихлення сприяє оголенню нових активних поверхонь часток товстого шару матеріалу, покращує формувальні властивості й дає інші вагомі переваги [1]. Напрямний елемент 7 дозволяє регулювати товщину шару і, відповідно, кількість ущільнень-рихлень. Ефективність використання АБВТ для активації бетонних сумішей доведена експериментально [2].

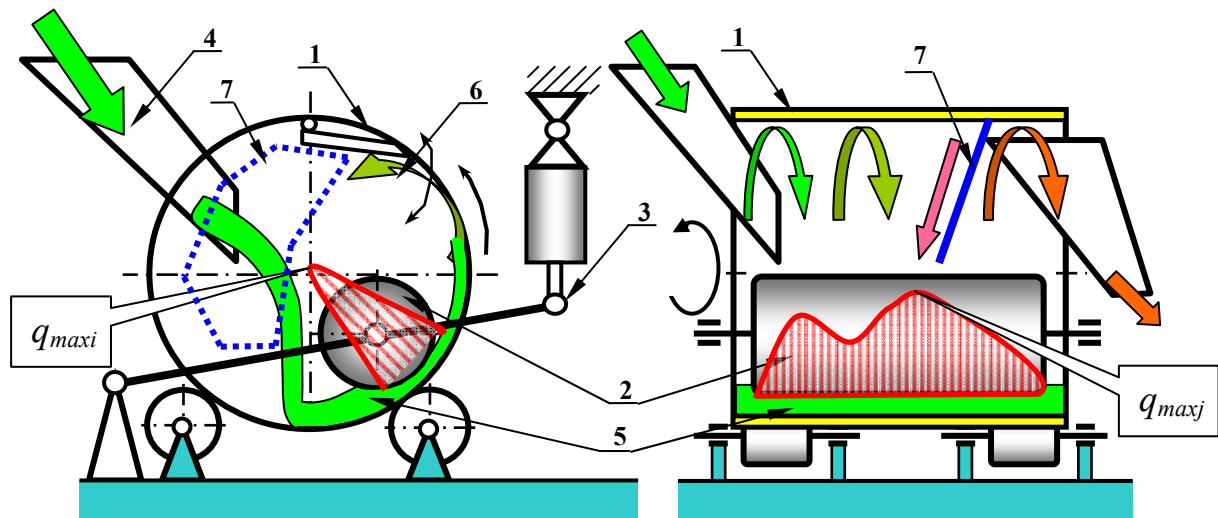


Рисунок 1 – Принципова схема агрегату барабанно-валкового типу безперервної дії (АБВТ БД):

1 – барабан; 2 – валок; 3 – притискний пристрій; 5 – шар матеріалу; 6 – ніж-розпушувач; 7 – напрямна пластина.

На відміну від такого самого агрегату циклічної дії, описаного у [3], АБВТ БД має простіше конструктивне виконання й більшу продуктивність завдяки відсутності витрат часу на завантаження та розвантаження. Особливістю такого агрегату є змінний тиск по довжині валка. Зони підвищеного тиску розташовані на ділянці завантаження матеріалу у барабан та ділянках встановлення напрямних елементів 7 (рис.1). Несталість тиску по довжині валка ускладнює визначення потрібного зусилля притискання та потужності й потребує розробки відповідної математичної моделі.

Аналіз останніх досліджень і виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що основою подібних моделей є описання розподілу тиску під валком по дузі захвату під час прокатування валка по товстому шару матеріалу. Класичним можна вважати описання, створене ще у 50-х роках минулого сторіччя дослідниками дорожніх машин Хархутою Н.Я., Калужським Я.А., які

розглядали кочення катка по підвалині, що ущільнюється. Аналогічна задача вирішена стосовно ущільнення шару бетону прокаткою, наприклад, у роботі Зайченко С.В. [4], а також стосовно ущільнення шару силікатної суміші під валком барабанно-валкового агрегату [5]. Такі описання базуються на визначенні коефіцієнту зсуву τ у напрямку, тангенціальному дії валка.

Останнім часом доцільним вважається використання більш узагальнених моделей для визначення напруженого стану частки матеріалу шару під валком під час прокатування. Така модель використана, наприклад, Зубковим А.Ф. у дослідженнях процесу ущільнення асфальтобетонних сумішей [6]. Сумарне напруження σ визначається сумою напружень від дії силових факторів – $\bar{\sigma}_{QX}, \bar{\sigma}_{QY}, \bar{\tau}_{FX}, \bar{\tau}_{FY}, \bar{\tau}_{SX}, \bar{\tau}_{SY}$, кожне із яких визначається поліномом, коефіцієнти якого залежать від параметрів котка та матеріалу.

Невирішеними раніше частинами загальної проблеми є численні коефіцієнти та показники сумішей, які входять у рівняння обох розглянутих моделей, що потребують експериментального визначення, яке є достатньо складною науковою задачею, до теперішнього часу не вирішеною стосовно сировинних сумішей будівельних виробів.

Формулювання цілей статті: розроблення адекватної математичної моделі робочого процесу АБВТ, яка дозволяє отримувати основні робочі параметри.

Виклад основного матеріалу. Більш зручною є модель, заснована на використанні компресійних кривих (КК), що зв'язують тиск та густину і характеризують здатність матеріалу до ущільнення [1]. Аналітичне описання КК має вигляд:

$$q_i = q_0 \cdot e^{b(\rho_i - \rho_0)}, \quad (1)$$

де q_i ρ_i – тиск і густина шару певної елементарної ділянки;

q_0 , ρ_0 , b – базові значення тиску й густини та емпіричний коефіцієнт, що характеризує крутість КК, і знаходяться експериментально по методиці, докладно представлений у [1].

Для визначення основних параметрів процесу переробки у АБВТ БД запропонована модель, яка дозволяє знайти розподіл тиску під валком у поперечному перерізі сумішним розгляданням КК сумішей, що переробляються, з рівняннями, які описують ущільнюючу здатність АБВТ, а також має спеціальний блок для врахування розподілу тиску у повздовжньому перерізі. При розробці моделі було припущено, що закономірності ущільнення у замкнутій прес-формі можна без великої похибки використати для описання процесу ущільнення при прокатуванні валка по матеріалу, хоча знімання КК на гідравлічному пресі проходить на

протязі декількох хвилин, а процес ущільнення у АБВТ завершується за менш ніж 0,1 с, тобто у тисячу разів скоріше.

Математична модель ґрунтується на визначенні елементарних зусиль P_i , які діють на валок із боку шару (рис.2), і заснована на знаходженні поточної густини ρ_i на елементарній ділянці.

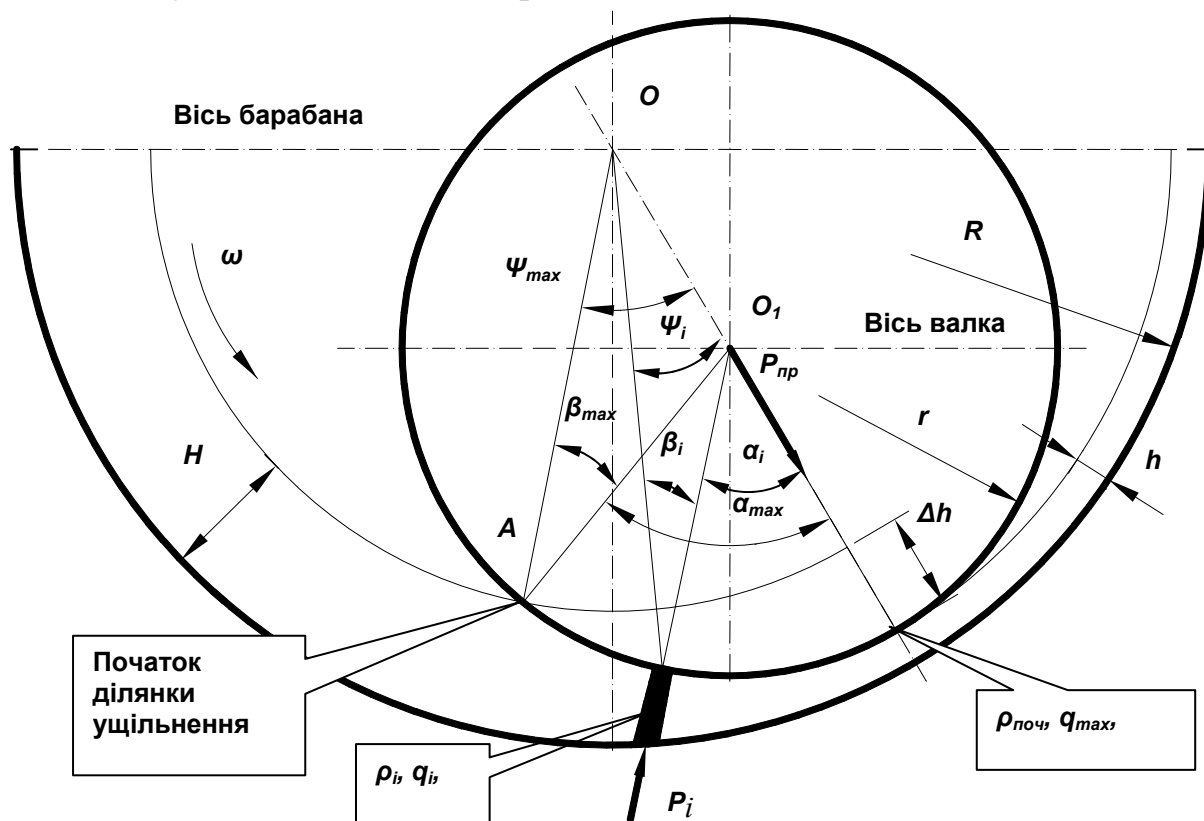


Рисунок 2 – Схема для визначення розподілення тиску під валком АБВТ:

R, r – радіуси барабана і валка; $H, h, \Delta h$ – товщина відповідно пухкого й ущільненого шарів, а також різниця в товщині; O, O_1 – вісі барабана й валка; A – точка торкання валка із шаром, через яку проведені радіуси барабана й валка; $\alpha_i, \beta_i, \psi_i$ – кути, які характеризують певний переріз (елементарну ділянку) із густиною ρ_i і тиском q_i

Вихідними даними для реалізації моделі мають бути показники КК конкретної суміші – q_0, b, ρ_0 ; розміри АБВТ – R, r ; товщина шару під валком – h ; крок зміни кута $\Delta\beta$.

Основним вихідним даним, що враховує специфіку моделі АБВТ БД, є картина розподілення густини шару матеріалу по довжині валка, яка може бути представлена у вигляді, наприклад, графіка залежності указаної густини від довжини робочої камери барабана. Ця отримана у результаті прокатування валка густина для кожного поперечного перерізу буде максимальною (без урахування пружних деформацій). Розподіл густини за довжиною валка можна визначити для кожного матеріалу експериментально шляхом вимірювання коржів, знятих із барабана АБВТ після зупинки. Для характерних сировинних сумішей нами визначені указані розподіли, які можна використовувати як типові.

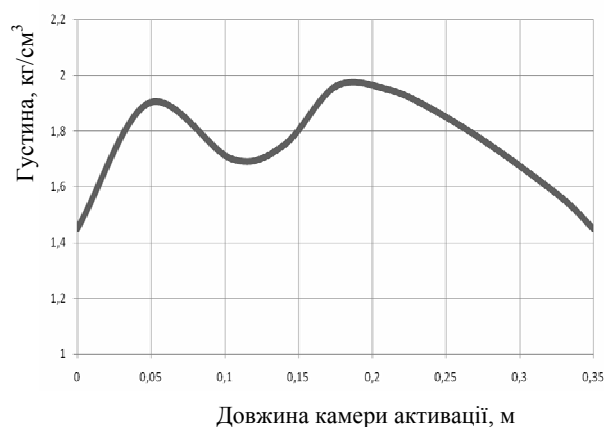


Рисунок 3 – Залежність указаної густини від довжини робочої камери барабана

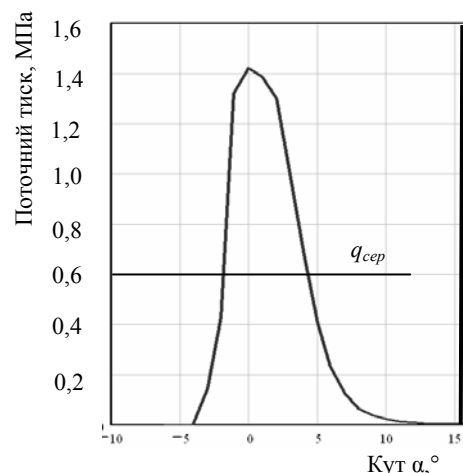


Рисунок 4 – Розподіл тиску під валком

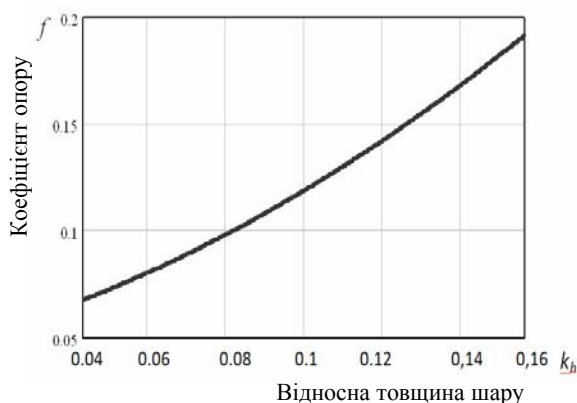


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту опору від відносної товщини шару

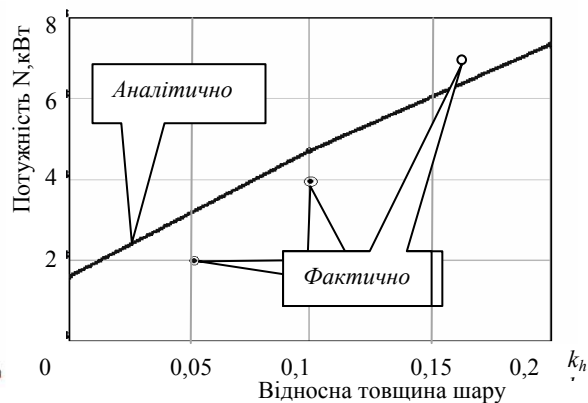


Рисунок 6 – Залежність потужності від відносної товщини шару

Перед моделюванням усю довжину робочої камери барабана (повздовжній переріз) слід поділити на зони, які становлять 1-5 відсотків усієї довжини робочої камери барабана. У цих зонах довжиною B кожна указану густину можна приймати постійною. Для поперечного перерізу кожної зони означена задана максимальна густина, умовно названа початковою $\rho_{поч}$, разом із показниками КК дасть максимальний рівень тиску під валком q_{max} . Відповідно до загальноприйнятих уявлень, максимальний тиск під валком діє у перерізі, який знаходиться поблизу вихідного, але не співпадає з ним. Аналіз свідчить, що без великої похибки цим перерізом можна вважати переріз із мінімальною товщиною шару h , яка для моделі є вихідним даним.

У кожного наступного перерізу, що знаходиться від указанного на кут $\Delta\alpha_i$, у моделі є, з урахуванням розмірів АБВТ, дещо більша товщина шару h_i і коефіцієнт K_y цього збільшення і, відповідно, зменшення поточної густини ρ_i . Поточна густина розраховується з використанням коефіцієнтів радіусу валка $K_r=r/R$ та товщини шару $K_h=h/R$:

$$\rho_i = \frac{\rho_{\text{поч}}}{\frac{1}{k_h} \left(1 - k_r \frac{\sin(\alpha_i)}{\frac{k_r}{(1 - k_r - k_h)} \cdot (\sin \psi_i)} \right)} \quad (2)$$

Отримана поточна густина використовується для визначення поточного тиску q_i по КК. Для спрощення розрахунків виконується наближення не кута α_i , а кута β , через який розраховуються кути α_i та ψ_i . Нарощування кута β проводиться до значення β_{max} , поки тиск у перерізі не стане меншим наперед заданої величини, яка, наприклад, становить 1-5 відсотків максимального тиску. Розподіл тиску під валком проілюстрований.

Поточні тиски на елементарних ділянках використовуються для розрахунку елементарних зусиль, що діють на валок, їхніх проекцій на вісь, що з'єднує осі валка й барабана, а також сумарного зусилля P_{Σ} по довжині усієї зони, яке визначається інтегруванням проекцій елементарних зусиль:

$$P_{\Sigma} = \int_{\beta=0}^{\beta=\beta_{\text{max}}} \left(\frac{q_i + q_{i-1}}{2} \right) \cdot B \cdot (r \cdot (\alpha_i - \alpha_{i-1})) \cos \alpha_i, \quad (3)$$

де q_i та q_{i-1} – поточні тиски на сусідніх ділянках.

Отримані тиск і сумарне зусилля є базою для розрахунку витрат потужності на ущільнення у кожній зоні, а також показника інтенсивності, який дозволяє оцінювати ефективність переробки АБВТ БД:

Визначення витрат потужності у кожній зоні повздовжнього перерізу ґрунтується на формулі, загальноприйнятій для валкових агрегатів:

$$N_i = P_{\Sigma} \cdot f \cdot R \cdot \omega, \quad (4)$$

де ω – кутова швидкість барабана;

f – коефіцієнт опору руху валка по шару.

За результатами наших досліджень на лінійному стенді для більшості сировинних сумішей коефіцієнт опору можна взяти у діапазоні $f = 0,1 \div 0,15$ (більші значення характерні для більших величин відносної товщини шару h/r). Проілюстрована означена залежність стосовно обробки суміші шлаку й щебеню. У модель вбудована відповідна залежність.

Сума отриманих значень потужностей усіх зон є основною складовою потужності АБВТ БД, яка витрачається на процес переробки.

Для оцінки ефективності процесу переробки сировинних сумішей у АБВТ БД, а також можливості порівняння АБВТ безперервної та циклічної дії було запропоновано, по аналогії з методиками дослідників дорожніх машин, використовувати показник інтенсивності E , який враховує як кількість взаємодій (Z) валка з матеріалом, так і величину максимального тиску (q_{max}) таких взаємодій.

Експериментально доведено, що показники якості виробів із сумішей, перероблений у АБВТ, наприклад, міцність на стиск, у певному діапазоні тисків та циклів пропорційна інтенсивності E . Остання розраховується як сума інтенсивності обробки у кожній зоні

$$E_i = Z_i \cdot q_{\max_i} . \quad (5)$$

Кількість циклів ущільнень-розпушень Z_i у кожній зоні, що входить до формули, визначається довжиною зони B_i та осьовою швидкістю матеріалу v_i за один оберт у цій зоні:

$$Z_i = \frac{B_i}{v_i} . \quad (6)$$

Для аналітичного описання процесу переробки у АБВТ БД обране описання безперервних процесів Нав'є-Стокса (векторний запис):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \operatorname{div} \vec{v} + \vec{v} \operatorname{grad} \rho = 0 , \quad (7)$$

де $\rho = \rho(x, y, z, t)$ – густина потоку речовини; $\vec{v} = \vec{v}(x, y, z, t)$ – вектор швидкості речовини в точці із координатами (x, y, z) в момент часу t .

Тут абсолютна величина густини потоку ρ – це кількість речовини, яка пройшла в одиницю часу через одиницю площі, яку розташовано перпендикулярно швидкості.

Стосовно АБВТ, витрати матеріалу через кожний поперечний переріз будь-якої зони (або продуктивність агрегату за оберт $\Pi_{об}$) є постійними, в той час як густина і швидкість – змінними, причому нерівномірність густини і швидкості спричинена як дією напрямних пристроїв, так і конструктивними особливостями зони завантаження АБВТ БД.

$$v_i = \frac{\Pi_{об}}{\pi \cdot R \cdot 2 \cdot h \cdot \rho_{поч}} \quad (8)$$

На рис. 6 наведені результати вимірювань потужності, що витрачалась під час переробки бетонної суміші у напівпромисловому зразку АБВТ БД, а також указані розрахункові значення, отримані моделюванням. Відносно невелика розбіжність свідчить про адекватність моделі.

Отримані моделюванням величини потужності та показника інтенсивності є базою для оцінки енергоємності процесу переробки у АБВТ БД та вибору раціональних конструктивних та режимних параметрів, а також для вибору двигуна, пневмоциліндрів пристрою притискання валка та розрахунку вузлів і деталей активатора на міцність. Означені розрахунки вбудовані у модель, як окремі блоки.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропонована адекватна математична модель дозволяє вибирати раціональні параметри ефективного активатора для переробки сировинних сумішей з метою зменшення витрат цементу на виробництво дрібноштучних будівельних виробів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Савченко О.Г. Обладнання комплексів для виробництва будівельних дрібно штучних стінових виробів: навч. посібн. / О.Г. Савченко – Х.: Тимченко, 2006. – 416 с.

2. Комплекс обладнання для виробництва ресурсозберігаючих дрібноштучних виробів із використанням агрегату барабанно-валкового типу / [В.О. Буцький, Д.В. Супряга, Г.Д. Федоров та ін.]. // Науковий Вісник Будівництва. – Х.: ХДТУБА, 2007. – Вип. 43.

3. Волков В.І. Застосування барабанно-валкових агрегатів для активації металургійних шлаків: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / В.І. Волков. – Х.: ХДТУБА, 2004. – 22 с.

4. Зайченко С.В. Контактна взаємодія робочих органів безвібраційних бетоноформуючих агрегатів при виробництві пустотних панелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.02. / Зайченко С.В. – К.; 2001. – 181 с.

5. Математична модель процесу нарощування тиску під валком барабанно-валкового агрегату / О.Г. Савченко , О.Ю. Крот , В.І. Праведніков , Д.В. Супряга // Науковий вісник НТУ ХПІ. Хімія, Хімічна технологія і екологія. – Х.: НТУ ХПІ, 2005. – Вип.41. – С. 46–50.

6. Зубков А.Ф. Разработка технологии устройства асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными параметрами: автореф. дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук / А.Ф. Зубков. – Воронеж: ВГАСУ, 2008.

7. Методика розрахунку барабанно-валкового активатора безперервної дії / [Д.В. Супряга , О.Ю. Крот , В.О. Буцький та ін.] // Науковий Вісник XIV. Хімія, хімічні технології і екологія. – Х.: НТУ ХПІ, 2006. – Вип.42.

8. Особливості формування ресурсозберігаючої цегли методом напівсухого пресування / О.Г. Савченко, О.Ю. Крот , А.М. Тимощенко , В.О. Буцький // Науковий Вісник XIV. Хімія, хімічні технології і екологія. – Х.: НТУ ХПІ, 2007. – Вип.26.